

Patent Number: DE19805849  
Publication date: 1999-09-02  
Inventor(s): DUDEL JOACHIM (DE); MEHNERT AXEL (DE); HALLDORSSON THORSTEINN (DE)  
Applicant(s): DAIMLER CHRYSLER AG (DE)  
Requested Patent: DE19805849  
Application Number: DE19981005849 19980213  
Priority Number(s): DE19981005849 19980213  
IPC Classification: G02B7/00; H01S3/086  
EC Classification: H01S3/02  
Equivalents: EP1053576 (WO9941813), B1, JP2002503888T, WO9941813

#### Abstract

The invention relates to a method for constructing and connecting optical components, especially optical components in a laser resonator, to connection techniques, and to a laser resonator which is used in said method. The optical elements or subassemblies are arranged in small spherical tubes or in small tubes provided with a spherical surface. In addition, said elements or subassemblies are inserted in boreholes of support plates which are assembled by plate-shaped spacers in the manner of an optical bank in order to form an optical system, for example, a laser resonator. It is also possible to carry out a subsequent adjustment, for example, by precise alignment using a laser.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

#### Description

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Aufbauen und Verbinden von optischen Komponenten, insbesondere von optischen Komponenten in einem Laserresonator, und einen bei diesem Verfahren verwendeten Laserresonator.

Durch den Stand der Technik sind zahlreiche Ausführungsformen von Laserresonatoren bekannt, die vorwiegend mit feinwerktechnisch hergestellten Strukturteilen hergestellt sind. Hierbei werden für die einzelnen Funktionselemente des Laserresonators in aller Regel Justiereinheiten für mindestens vier Achsen verwendet. Dabei stehen zwei Achsen senkrecht zur in der Z-Achse liegenden Resonatorachse und erlauben eine Verschiebung des Funktionselementes. Weiterhin müssen zwei Kippachsen zu dieser Z-Achse realisiert werden. Die einzelnen Justageachsen müssen nun unabhängig voneinander sein und werden aufgrund der erforderlichen genauen Justierung, wobei der Winkel  $< 1$  mrad sein muss, mit Feingewindeschrauben bewegt. Zur Erzeugung von Rückstellkräften verwendet man vornehmlich unterschiedlich gestaltete Federn.

Aus der DE 38 36 287 der Anmelderin ist ein Ausführungsbeispiel eines Lasers nach dem Stand der Technik bekannt, dessen Laserresonator ein zylindrisches Metallrohr ist, in dem rotationssymmetrisch die Resonatorkomponenten unmittelbar mittels Lager- und Führungskomponenten verschiebbar angeordnet und mittels Justierschrauben ein- und feststellbar sind.

Ein ähnliches Ausführungsbeispiel offenbart die EP 0 251 718 A2 am Beispiel eines optisch gepumpten Lasers, bei dem die einzelnen Komponenten mit einem bestimmten Abstand in einer Transportstruktur



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Off nl ungsschrift**  
⑩ **DE 198 05 849 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 02 B 7/00**  
H 01 S 3/086

⑳ Aktenzeichen: 198 05 849.7  
㉔ Anmeldetag: 13. 2. 98  
㉕ Offenlegungstag: 2. 9. 99

DE 198 05 849 A 1

㉑ Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

㉒ Erfinder:  
Dudel, Joachim, 85521 Riemerling, DE; Mehnert,  
Axel, 86956 Schongau, DE; Halldorsson,  
Thorsteinn, 81925 München, DE

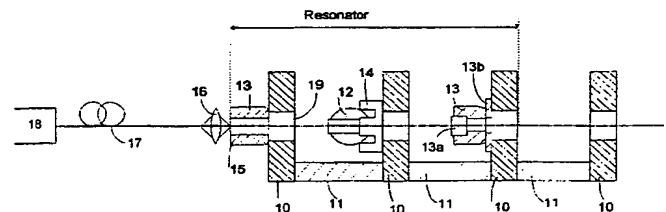
⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 38 36 287 C2  
DE 1 96 02 636 A1  
DE 42 32 327 A1  
US 54 08 493  
EP 02 51 718 A1  
JP 01-3 19 008

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zum Aufbauen und Verbinden von optischen Komponenten, insbesondere von optischen Komponenten in einem Laserresonator, und bei diesem Verfahren verwendeter Laserresonator

⑤7 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Aufbauen und Verbinden von optischen Komponenten, insbesondere von optischen Komponenten in einem Laserresonator Verbindungstechnik und einen bei diesem Verfahren verwendeten Laserresonator. Die optischen Elemente bzw. Baugruppen sind in kugeligen oder mit einer kugeligen Fläche versehenen Röhrchen angeordnet und in Bohrungen von Trägerplatten eingebracht, die durch plattenförmige Abstandselemente nach Art einer optischen Bank zu einem optischen System z. B. einem Laserresonator zusammengefügt werden, wobei auch die Möglichkeit einer Nachjustage z. B. durch Laserfeinrichten gegeben ist.



DE 198 05 849 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Aufbau und Verbinden von optischen Komponenten, insbesondere von optischen Komponenten in einem Laserresonator, und einen bei diesem Verfahren verwendeten Laserresonator.

Durch den Stand der Technik sind zahlreiche Ausführungsformen von Laserresonatoren bekannt, die vorwiegend mit feinwerktechnisch hergestellten Strukturteilen hergestellt sind. Hierbei werden für die einzelnen Funktionselemente des Laserresonators in aller Regel Justiereinheiten für mindestens vier Achsen verwendet. Dabei stehen zwei Achsen senkrecht zur in der Z-Achse liegenden Resonatorachse und erlauben eine Verschiebung des Funktionselementes. Weiterhin müssen zwei Kippachsen zu dieser Z-Achse realisiert werden. Die einzelnen Justageachsen müssen nun unabhängig voneinander sein und werden aufgrund der erforderlichen genauen Justierung, wobei der Winkel  $< 1$  mrad sein muß, mit Feingewindeschrauben bewegt. Zur Erzeugung von Rückstellkräften verwendet man vornehmlich unterschiedlich gestaltete Federn.

Aus der DE 38 36 287 der Anmelderin ist ein Ausführungsbeispiel eines Lasers nach dem Stand der Technik bekannt, dessen Laserresonator ein zylindrisches Metallrohr ist, in dem rotationssymmetrisch die Resonatorkomponenten unmittelbar mittels Lager- und Führungskomponenten verschiebbar angeordnet und mittels Justierschrauben ein- und feststellbar sind.

Ein ähnliches Ausführungsbeispiel offenbart die EP 0 251 718 A2 am Beispiel eines optisch gepumpten Lasers, bei dem die einzelnen Komponenten mit einem bestimmten Abstand in einer Transportstruktur angeordnet sind.

Solche Laserkonzeptionen weisen eine Reihe von Nachteilen auf, insbesondere sind die Aufwände an Herstellung, Gewicht und Baugröße viel zu hoch. So ist es beispielsweise erforderlich, daß nur Feingewinde eingesetzt werden, die gehärtete Inlets als Auflageflächen erfordern, Verankerungen für die Rückstellfedern benötigen und feinbearbeitete Auflageflächen für die die Kippachsen definierenden - Kugeln erfordern. Ein weiterer großer Nachteil ist, daß eine Automatisierbarkeit der Laserjustage und Laserherstellung nicht möglich ist. Die Justierung derartiger Laserresonatoren ist bis jetzt immer nur von Hand durchführbar. Auch die Baugröße läßt sich nicht beliebig verkleinern, da das Laserkopfvolumen zwangsläufig bei diesen Konzeptionen in allen Raumrichtungen nicht oder nur ganz unbedeutend minimierbar ist.

Wesentlich aber fallen bei den vorbeschriebenen Konzeptionen des Standes der Technik die negativen Einflüsse von Umweltbedingungen und das systemeigene thermische Verhalten ins Gewicht. Die Strukturteile der Laserresonatoren unterliegen immer wechselnden Umweltbedingungen, insbesondere wenn sie das Subsystem eines "Consumer-Produktes" sind - wie beispielsweise bei Transport und Lagerung - und somit die geordneten Verhältnisse eines Laserlabors verlassen. Hinzu kommen mechanische Belastungen wie Rütteln und Stoßen. Die Justierelemente, wie sie oben genannt sind, sind denkbar schlecht geeignet, um all diesen Belastungen zu widerstehen. Dies liegt zum einen daran, daß sehr viel Material verwendet werden muß, um bei solchen Justiereinrichtungen eine vollkommene Entkopplung der Justageebenen herzustellen.

Temperaturwechsel können deshalb wegen der thermischen Ausdehnungskoeffizienten zu großen Dejustierungen führen. Zum andern können bei Stoßen auf derartige Strukturen die Haftreibungskräfte zwischen den Komponenten

überwunden werden. Danach "gleitet" die betroffene Justageebene in eine neue Position und verbleibt dort. Die Rückstellkräfte und -richtungen der Federn sind nicht in der Lage, den ursprünglichen Zustand wiederherzustellen. Der Resonator muß also von Hand nachjustiert werden.

Bezüglich des thermischen Verhaltens der Ausführungsbeispiele nach dem Stand der Technik ist noch anzuführen, daß bekanntlich ein Laserresonator die eingekoppelte Primärleistung (beispielsweise die optische Leistung) nur zu einem Teil in Nutzstrahlung umsetzt. Je nach Laserkonzeption sind dies zwischen 10% und 50%. Ein Großteil davon muß über Wärmeleitung aus den Funktionselementen des Resonators abgeführt werden, da sonst eine Überhitzung und damit eine teilweise Zerstörung der Elemente hervorgerufen wird. Mit der Verwendung der vorstehend angeführten Justierungselemente ist aber eine Wärmeabfuhr über die Strukturteile mit hohen Temperatursprüngen verbunden, da die einzelnen Justageebenen nur über punktförmige Auflageflächen verbunden sind und somit sehr hohe thermische Widerstände auftreten. Natürlich hängt davon auch das thermische Einschwingverhalten im Einschaltvorgang ab, das aufgrund der hohen thermischen Widerstände hohe Zeitkonstanten aufweist. Bei hohen Stabilitätsanforderungen an den Resonator können diese Zeitkonstanten dann sogar im Bereich einiger Minuten liegen.

Zum Aufbau von optischen Funktionsgruppen, insbesondere von Laserresonatoren werden moderne Verbindungstechniken wie Löt- und Klebverfahren verwendet. Dabei werden die optischen Bauteile in engem Kontakt zu Haltestrukturen justiert, Klebstoffe oder Lote vor und nach dem Justieren in den entstehenden Spalt eingebracht und daraufhin der meist thermisch induzierte Verbindungsprozeß durchgeführt.

Der Vorteil dieser Technik ist der verminderte Aufwand an mechanischen Stellelementen, der bessere thermische Kontakt zu den Halteteilen und die höhere Stabilität der Verbindung. Der große Nachteil dieser Verbindungstechnologie ist jedoch die Dejustage der Elemente beim Härteprozeß. Diese Nachteile können ausgeglichen werden, indem zum Beispiel beim Löten ein entsprechender Härteverzug vorgehalten wird. Dieses Verfahren ist jedoch in der Produktion sehr aufwendig und nur schlecht automatisierbar.

Bei Klebstoffen können z. B. langsam aushärtende Epoxidharze verwendet werden, wobei auftretende Dejustagen während der meist stundenlangen Aushärtezeit kontinuierlich ausgeglichen werden. Dieser Prozeß ist zwar automatisierbar, die Herstellung eines Resonators blockiert jedoch über Stunden die gesamte Fertigungsanlage.

Der vorliegenden Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, diese Nachteile des Standes der Technik weitgehend zu beseitigen und einen Laserresonator der eingangs genannten Art zu schaffen, der frei von Dejustierungen durch thermische und umweltbedingte Einflüsse ist und auch eine wirtschaftlich optimierte Herstellung gewährleistet.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 aufgezeigten Maßnahmen gelöst. In den Unteransprüchen sind Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung angegeben.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele in Verbindung mit der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Gesamtsystems am Beispiel eines Nd : YAG-Laser-Frequenzverdopplers,

**Fig. 2** eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Kugelplatten-Resonators mit nur kugelförmigen Haltern für die Laserresonatorelemente,

**Fig. 3** eine Draufsicht und eine Längsschnittansicht eines Ausführungsbeispiels eines Halteelements für den Laserkristall mit kugelförmiger Fläche,

**Fig. 4** eine Draufsicht und eine Längsschnittansicht eines Ausführungsbeispiels eines ersten Kronenelementes,

**Fig. 5** eine Längsschnittansicht eines Ausführungsbeispiels eines zweiten Kronenelementes mit einem Halter für das optische Element,

**Fig. 6** eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen röhrenförmigen Resonatorträgers,

**Fig. 7** eine schematische Darstellung eines Querschnitts eines weiteren erfindungsgemäßen röhrenförmigen Resonatorträgers und

**Fig. 8** ein erfindungsgemäßes "Kugel-Schiene-Konzept" zur Herstellung von justierten optischen Systemen.

Erfindungsgemäß werden die bisher erforderlichen, aufwendigen Justierelemente des Standes der Technik durch einfache, serienmäßig herstellbare Strukturteile ersetzt, die einerseits eine einfache optische Bank bilden und andererseits für die optischen Bauteile ein in mehreren Achsen justierbares Gelenk bilden. Als Verbindungsprozeß kommen Löt- und Klebetechniken in Frage, insbesondere jedoch das Schweißen mittels Laserstrahlung. Einzelne Strukturteile, insbesondere Teile des Gelenks sind so ausgeführt, daß ein nachträgliches Feinrichten des entstandenen Härteverzugs vor allem mittels Laserfeinrichten möglich ist. Dabei wird im einfachsten Falle ausgenutzt, daß ein Blechstreifen, welcher mittels Laserenergie bestrahlt wird, innere Spannungen erhält, die den Streifen zum Verbiegen bringen. Somit können verbundene optische Bauteile gegeneinander gekippt und verschoben werden.

Ein zielgerichtetes Nachjustieren wird durch den Einsatz einer Bauteillagesensorik möglich, welche die Position und die Kippwinkel vor und nach dem Verbindungsprozeß erkennt. Diese Sensorik kann im einfachsten Fall der Laserstrahl eines Justierlasers (z. B. HeNe-Laser) sein, der auf eine Oberfläche des optischen Bauteils gerichtet ist. Ebenso denkbar sind interferometrische Meßverfahren oder bildverarbeitende Systeme. Weiterhin kann der emittierte Laserstrahl des entstandenen Resonators selbst, nach entsprechender Analyse, zum zielgerichteten Nachjustieren benutzt werden.

In **Fig. 1** ist ein erfindungsgemäßes Gesamtsystem gezeigt.

Allgemein wird gemäß der Erfindung vorgeschlagen, die einzelnen optischen Elemente oder Baugruppen, wie Laserkristall **15** oder KTP-Kristall **14a**, Resonatorspiegel **13a**, etc., in kugelförmigen oder röhrenförmigen Haltern **12**, **13** zu integrieren. **Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Kugelplatten-Resonators mit nur kugelförmigen Haltern für die Laserresonatorelemente und **Fig. 3** eine Draufsicht und eine Längsschnittansicht eines Ausführungsbeispiels eines Halteelements für den Laserkristall mit kugelförmiger Fläche. Diese Halter **12**, **13** werden nun in einem (hier nicht dargestellten) Montagewerkzeug – ähnlich einer optischen Bank – nacheinander miteinander aufgereiht, justiert und gehalten.

Rechteckige, längliche Trägerplatten **10** bestimmter Dicke werden durch sogenannte Basisplatten **11** gehalten, die verschiedene Stärken haben und so jeden definierten Abstand bilden können und zueinander vorgegebene Abstände haben. An den raufreien Endpartien der Trägerplatten **10** befinden sich in der Laserachse **20** entsprechende Bohrungen **19**, in die bzw. an denen die kugelförmigen oder röhrenförmigen Halter **12**, **13** angeordnet sind. Wie aus den **Fig. 1** bis **3** ersichtlich ist, werden die mit den Laserresonatorelementen versehenen Halter **12**, **13** mit ihrer kugelförmigen bzw.

abgerundeten Fläche in die jeweilige Bohrung der zugehörigen Trägerplatte **10** eingesetzt, mit den Justierelementen des Montagewerkzeugs vorjustiert und dann beispielsweise mittels Bestrahlung durch Schweißlaser verbunden. In den Fügungsspalten entsteht beim Verbindungsprozeß beispielsweise die Schweiß- oder Lötnaht **21**. In aller Regel kann auch die Verbindung zwischen den Haltern **12**, **13** und ihren Trägerplatten **10**, aber auch von den Trägerplatten **10** zu den Basisplatten **11** durch Klebung, Lötung oder einem Laserschweißverfahren hergestellt werden.

In dem Ausführungsbeispiel nach **Fig. 1** wird der KTP- oder YAG-Kristall an einem sogenannten "Kronenelement" **14** (**Fig. 4**) befestigt, das eine ringförmige Aufnahme bildet, die einerseits mit Zacken bzw. Stegen **14a** zur Laserjustage und Schweiß- oder Lötebenen **14c**, **14d** zur Trägerplatte **10** sowie dem kugelförmigen Halter **12** versehen ist. Hierbei bilden die Oberflächen der Zacken bzw. Stege **14a** die Schweiß- oder Lötebenen **14c** – im dargestellten Ausführungsbeispiel sind es drei – für den kugelförmigen Halter **12**. Die "Lücken" zwischen den Zacken **14a** sind mit **14b** bezeichnet. Die Vorjustage der einzelnen Resonatorelemente erfolgt – wie bereits erwähnt – durch das nicht dargestellte Montagewerkzeug. Die Nachjustage in X- und Y-Richtung aber nach dem Laserschweiß-, Löt- oder Klebevorgang erfolgt mittels entsprechender Laserlichtbestrahlung auf eine oder mehrere der Zacken **14a** des Kronenelementes **14**. Durch die zeitlich entsprechende Bestrahlung erfährt die jeweilige Zacke eine bestimmte Biegung, die zur genauen Endjustage ausgenutzt wird. Wie die Praxis am Beispiel einer Nachjustage mittels Nd:YAG-Laserlichts zeigte, läßt sich so eine Nachjustage nicht nur sehr genau, sondern auch sehr schnell durchzuführen. Die z-Achse bedarf in aller Regel keiner genauen Justage.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel wird der kugelförmige Halter **10** oder **11** mit dem Laserresonator-Element von einem "Schnappkronenelement" aufgenommen, wie es in **Fig. 5** skizziert ist. Hierbei sind an den Innenseiten dieser Zacken **114a** des Kronenelementes **114** Radien eingeschliffen, die denjenigen der kugelförmigen Halter **12** oder den Haltern mit einer kugelförmigen Fläche **13** entsprechen. Wie die Praxis zeigt, ist es nun kein Problem, diese Halter **12**, **13** zwischen den sich beim Einschieben leicht spreizenden Zacken bzw. Stegen **114a** zu positionieren. Dadurch wird erreicht, daß kein Druck zum Anpressen des Halters **12**, **13** mehr erforderlich ist.

Nun kann es bei verschiedenen Ausführungsformen wünschenswert sein, daß der Halter lediglich in eine mit entsprechender Bohrung versehene Scheibe **13b** eingesetzt und verschweißt oder verlötet werden soll. In dem Montageelement ist es nun durch Verschieben dieser Scheibe über der Bohrung der Trägerplatte **10** nach oben und unten bzw. seitlich problemlos möglich, die Kongruenz mit der Laserstrahlachse **20** zu erreichen. Da solche Verschiebungen nur relativ geringe Wegstrecken erfordern, können diese während der Trocknungszeit der Klebeverbindung erfolgen.

Die Träger- und Basisplatten **10**, **11** sind problemlos mit Kühlkanälen für Fluidsysteme zu versehen, sind aber ebenso problemlos mit Peltierelementen koppelbar.

Durch die vorbeschriebenen Maßnahmen ist nun der problemlose Aufbau eines Festkörperlaser-Resonators, z. B. eines frequenzverdoppelten Nd:YAG-Lasers in einfachster Bauweise offenbart, die den Bau kleiner und leichter Laser erlaubt.

Die Herstellkosten für die einzelnen Bauteile (Platten und Gelenke) sind erheblich gesenkt, da diese Teile nahezu ohne Fertigungstoleranzen auskommen. Durch die sehr kurzen Zeiten beim Verbindungsprozeß (Laserschweißen) und dem zielgerichteten (Nach-)Richtprozeß des Schweißverzugs

sind kürzeste Fertigungszeiten möglich. Das hier beschriebene Aufbau und Verbindungstechnikkonzept für Laser-Resonatoren ist somit ideal geeignet für die Massenproduktion von optischen Systemen, die aus mehreren zu justierenden Elementen bestehen.

Für die vorbeschriebene Aufbau- und Richttechnik ist im folgenden ein zweites Ausführungsbeispiel beschrieben (Fig. 6).

Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6 eignet sich besonders zum Aufbau von optischen Systemen aus Komponenten mit hoher Homogenität und Qualität. Ein Gelenk zur Aufnahme-Justage der Komponenten kann hier entfallen. Die Komponenten werden in Buchsen 211 aufgenommen, in eine Rohrstruktur 210 eingeschoben und abstandsmäßig ausgerichtet, woraufhin die Buchsen 211 mit dem Röhrchen 210 verbunden werden. Die Endjustage der Elemente wird mittels Laserbiegen an den dafür vorgesehenen Stegen 213 durchgeführt. Der ausgesandte Strahl des Laserresonators wird dabei analysiert (z. B. Leistung, Strahlqualität, Rauschen) und dient als Regelgrößen für eine zielgerichtete Endjustage. Für passive optische Systeme (z. B. Linsensysteme) kann ein Regelsignal aus der Abbildung eines Probe- strahls oder eines Bilds verwendet werden.

Wie Fig. 6 veranschaulicht, wird ein bestimmt strukturiertes Röhrchen 210 als Träger für die optischen Elemente (hier Elemente eines Laserresonators) verwendet, wobei diese Elemente in zum Durchmesser des Röhrchens 210 paßgenaue Buchsen 211 integriert sind, die in vorgegebenen Abständen voneinander eingeschoben werden. Dadurch ist eine lagemäßige Ausrichtung der Resonatorelemente vorgegeben, das Röhrchen 210 bildet eine optische Bank. Mittels geeigneter Verbindungstechnik, z. B. Laserschweißen, werden daraufhin die Buchsen 211 mit dem Röhrchen 210 verbunden. Nun weist das Röhrchen 210 sowohl zur Gewichts- erleichterung, als auch zur Feinjustage Schlitze 212 und Aussparungen 214 auf, wobei durch die Schlitze 212 bestimmte Stege 213 gebildet werden. Die Justage erfolgt durch die Verbiegung des Röhrchens 210, wobei zur Endjustage eine plastische Verformung erforderlich ist, die zwar mechanisch erfolgen kann, in der Regel aber erfindungs- gemäß mittels Laserbestrahlung auf die Stege 213 erfolgt, die in vorgegebener Leistung und Bestrahlungszeit durchgeführt wird. Die veranschaulichte Strukturierung des Röhrchens 210, im vorliegenden Fall die dünnen axialen Stege 213, erleichtern die gewünschten Einknickungen oder Verkipnungen durch die Laserpulse. Durch gegengerichtete Biegungen mit einem örtlichen Abstand kann zusätzlich eine xy-Verschiebung erreicht werden.

In Fig. 7 ist eine weitere Bauform eines erfindungsgemäßen röhrchenförmigen Resonatorträgers veranschaulicht, bei dem die Fein- oder Endjustage mittels einer Verwindung des Röhrchens 2110 durchgeführt wird. Hier sind die optischen Resonatorelemente ebenfalls in Buchsen 2111 integriert, die wie vorbeschrieben ausgebildet und im Röhrchen 2110 integriert sind. Auch hier sind Schlitze 2112 und Aussparungen 2114 zur Strukturierung und Gewichterleichterung des Resonators angeordnet. Hier wird die verwindende plastische Verformung des Resonators durch eine Laserbestrahlung auf die schräg zur Röhrchenachse A verlaufenden Stege 2113 erreicht.

Ein drittes Ausführungsbeispiel ist in Fig. 8 aufgezeigt. Bei dem hier dargestellten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel sind die einzelnen optischen Elemente z. B. des zu konzipierenden Festkörperlasers in Kügelchen oder Röhrchen integriert, also der Laserkristall, der KTP-Kristall und der Resonatorspiegel. Diese Elemente werden nun mit geeigneten Justiervorrichtungen - beispielsweise XYZ-Tischen, Drehtischen oder Goniometern - beliebig, d. h. ent-

sprechend den vorgegebenen Bedingungen der gewünschten optischen Funktionsgruppe (z. B. des Laserresonators), zueinander ausgerichtet und justiert gehalten. Anschließend werden die Kügelchen 30 oder Röhrchen mit je einer oder mehreren Schienen 31 - am besten U-förmigen Schienen - miteinander verbunden. Hierbei ist mittels zweier gegenüberliegender Schienen bereits eine optimale Stabilität gegeben. Das nächste Kugelelement wird dann mit 90° zum vorgenannten Kugelelement versetzt angeordneten Schienen verbunden.

Die Verbindung zwischen Kugelelement 30 und Schiene 31 kann in üblicher Weise durch Klebung, Lötung oder einem Laserschweiß- bzw. Lötverfahren durchgeführt werden. Dieses "Kugel-Schiene"-Konzept zur Herstellung von justierten optischen Systemen (z. B. Laser-Resonatoren) gewährleistet die serienmäßige Herstellung festjustierter, preiswerter Resonatoren.

Der Ausgleich des Härteverzugs wird wiederum durch Laserrichten erreicht, dafür sind die Schienen 31 entsprechend mit Biegebalken versehen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufbauen und Verbinden von optischen Komponenten, insbesondere von optischen Komponenten in einem Laserresonator, mit den Schritten:

Haltern jeder optischen Komponente (12a, 13a, 15) in einem Aufnahmeelement (12, 13; 211; 2111; 30), welches Teil eines Gelenks mit bis zu sechs Freiheitsgraden ist,

Justieren der optischen Komponenten (12a, 13a, 15) zueinander mittels externer Montagewerkzeuge, so daß sich die optische Funktion des Systems ergibt und alle Teile des Gelenks in mechanischen Kontakt kommen und ein Kontakt zu einer optischen Bank (10, 11; 210; 2110; 31) entsteht,

Bestimmen der Lage der optischen Komponenten (12a, 13a, 15) vor einem Verbindungsprozeß durch eine Bauteillagesensorik,

Verbinden aller Bauteile (10, 11, 12, 13; 210, 211; 2110, 2111; 30, 31) mittels Klebe-, Löt- oder Schweißtechnik,

Bestimmen der Lage der optischen Komponenten (12a, 13a, 15) nach dem Verbindungsprozeß durch die Bauteillagesensorik,

Ermitteln der Dejustage der optischen Komponenten (12a, 13a, 15) aus der Lage der optischen Komponenten (12a, 13a, 15) vor und nach dem Verbindungsprozeß durch die Bauteillagesensorik und

Ausgleichen der durch den Verbindungsprozeß entstandenen Dejustage der optischen Komponenten (12a, 13a, 15) mittels Laserfeinrichten durch Bestrahlung von zumindest einem Teil des Gelenks, um diesen Teil gezielt zum Verbiegen zu bringen, wobei die Bauteillagesensorik die Bestrahlungsleistung und Dauer jeweils abhängig von der ermittelten Dejustage der optischen Komponenten bestimmt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch den Schritt Bilden der optischen Bank (10, 11) durch Aneinanderschweißen einzelner Gelenke.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Gelenk Kugelflächen aufweist und beim Schritt des Justierens der optischen Komponenten (12a, 13a, 15) die Rotationsachsen der Montagerrichtung durch den Krümmungsmittelpunkt der Kugelflächen des Gelenks verlaufen.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, da-

durch gekennzeichnet, daß beim Schritt des Justierens die Translationsachsen der Montagerichtung parallel zu den Montageoberflächen der optischen Bank (10, 11; 210; 2110; 31) verlaufen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß beim Schritt des Justierens der mechanische Kontakt zwischen den Bauteilen nach dem Justieren durch Verfahren des Montagewerkzeugs in z-Achse erfolgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß beim Schritt des Justierens für Justagen in der z-Achse zwei Teile des Gelenks mittels Federkraft auseinandergedrückt werden und so der mechanische Kontakt zwischen einem Teil des Gelenks und einer Trägerplatte (10) der optischen Bank (10, 11; 210; 2110; 31) hergestellt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß beim Schritt des Justierens der mechanische Kontakt zwischen mindestens zwei Komponenten des Gelenks mittels Gravitationskraft gehalten wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß beim Schritt des Justierens der mechanische Kontakt zwischen einer Trägerplatte (10) der optischen Bank (10, 11; 210; 2110; 31) und einer Komponente des Gelenks mittels Gravitationskraft gehalten wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß beim Schritt des Verbindens der Verbindungsprozeß zwischen den Bauteilen des Gelenks und einer Trägerplatte (10) der optischen Bank (10, 11; 210; 2110; 31) mittels Laserschweißtechnik erfolgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß im Schritt des Ausgleichens der Dejustage mittels Laserfeinrichten dafür vorgesehene Flächen auf Teilen des Gelenks oder des Aufnahmeelements mit Laserlicht bestrahlt werden, die Oberfläche dabei thermisch umgeformt wird und diese Umformung eine Verbiegung der Fläche hervorruft.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet durch den Schritt Testen des Biegeverhaltens des gezielt verbiegbaren Teils, wobei die Bauteillagesensorik das Biegeverhalten als Funktion der aufgetragenen Laserenergie und des Ortes vermißt, die so entstehenden, für diesen Teil charakteristischen Translations- und Kippvektoren bestimmt und diese Vektoren nutzt, um das Bauteil zielgerichtet auf seine Position vor dem Verbindungsprozeß zurückzuführen.

12. Laserresonator mit:  
optischen Komponenten (12a, 13a, 15),  
Aufnahmeelementen (12, 13; 211; 2111; 30) zur Halterung jeder optischen Komponente (12a, 13a, 15), wobei jedes Aufnahmeelement (12, 13; 211; 2111; 30) Teil eines Gelenks mit bis zu sechs Freiheitsgraden ist, und einer optischen Bank (10, 11; 210; 2110; 31), mit der die Aufnahmeelemente (12, 13; 211; 2111; 30) in Kontakt sind und entlang der die optischen Komponenten (12a, 13a, 15) justiert und angeordnet sind, wobei ein Teil (13b, 14a; 114a; 213; 2113; 31) des Gelenks durch Bestrahlung mit einem Laserstrahl gezielt verbiegbare ist und zur Nachjustierung der optischen Komponenten (12a, 13a, 15) dient, wobei das Ausmaß der Verbiegung von der Bestrahlungsleistung und Dauer abhängt.

13. Laserresonator nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Bank (10, 11) durch Trägerplatten (10) und Basisplatten (11) gebildet ist.

14. Laserresonator nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Bank (31) durch U-Schienen gebildet ist.

15. Laserresonator nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Bank (210; 2110) durch ein rundes oder eckiges Rohr gebildet ist.

16. Laserresonator nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Bank durch aneinandergeschweißte einzelne Gelenke gebildet ist.

17. Laserresonator nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Gelenk bis zu drei Freiheitsgrade der Translation und gleichzeitig bis zu drei Freiheitsgrade der Rotation bereitstellt.

18. Laserresonator nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Aufnahmeelement (12, 13; 211; 2111; 30) eine Funktionsfläche für das Gelenk aufweist.

19. Laserresonator nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Freiheitsgrade der Rotation mittels einer (Teil-)Kugelfläche des Aufnahmeelements (12, 13) realisiert sind.

20. Laserresonator nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Freiheitsgrade der Translation dadurch realisiert sind, daß das Gelenk entlang der Oberfläche der optischen Bank (10, 11) bzw. der Trägerplatte (10) verschiebbar ist.

21. Laserresonator nach einem der Ansprüche 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der gezielt verbiegbare Teil (13b, 14a; 114a; 213; 2113; 31) des Gelenks Bestrahlungsflächen zum Laserrichten aufweist.

22. Laserresonator nach einem der Ansprüche 12 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß der gezielt verbiegbare Teil (13b) eine Scheibe mit einer Bohrung ist.

23. Laserresonator nach einem der Ansprüche 12 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß der gezielt verbiegbare Teil (213; 2113) ein rundes oder rechteckiges Rohr ist.

24. Laserresonator nach einem der Ansprüche 12 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß der gezielt verbiegbare Teil die Ferule einer Glasfaser ist.

25. Laserresonator nach einem der Ansprüche 12 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß der gezielt verbiegbare Teil verschiedene Aussparungen (14b; 214; 2114) enthält, die das leichtere und definiertere Verbiegen des Teils erlauben.

26. Laserresonator nach einem der Ansprüche 12 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Bauteile des Gelenks und die optische Bank (10, 11) bzw. die Trägerplatte (10) aneinander mittels Klebe-, Löt- oder Laserschweißtechnik befestigt sind.

27. Laserresonator nach einem der Ansprüche 11 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß der verbiegbare Teil (13b, 14a; 214, 114; 31) aus einem thermisch umformbaren Material, insbesondere aus Stahl, Kupfer oder einem Thermoplast besteht.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

**Fig. 1**

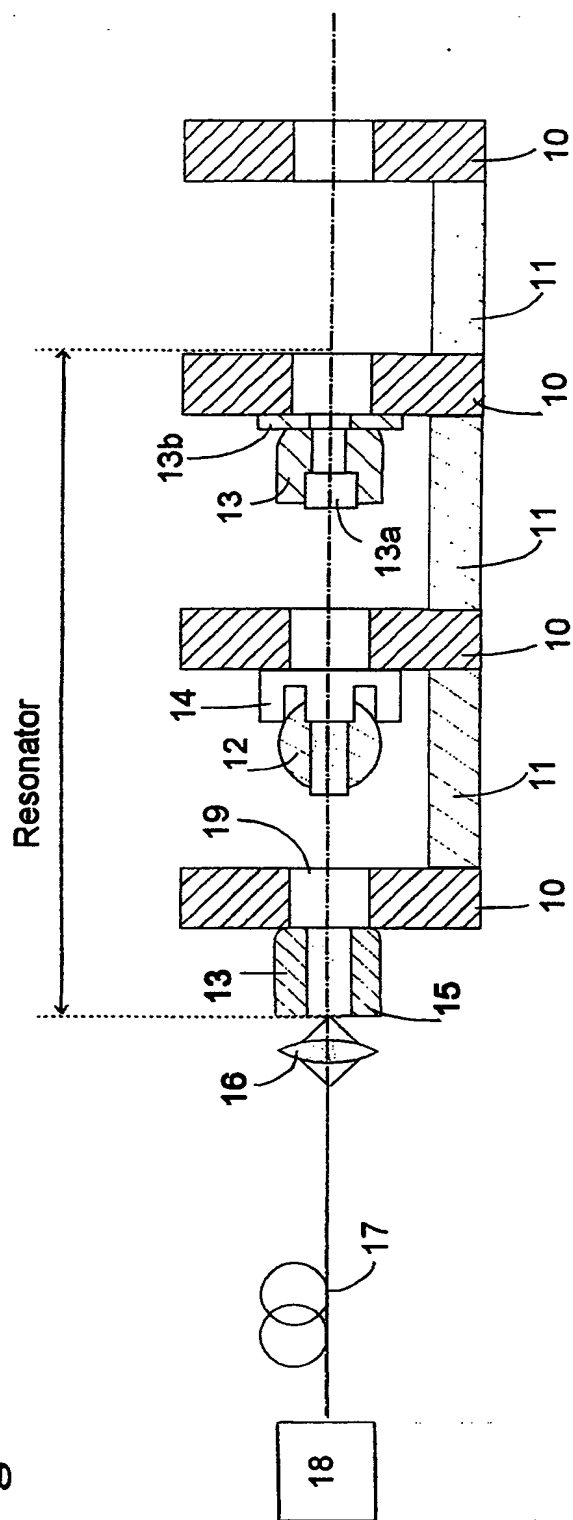
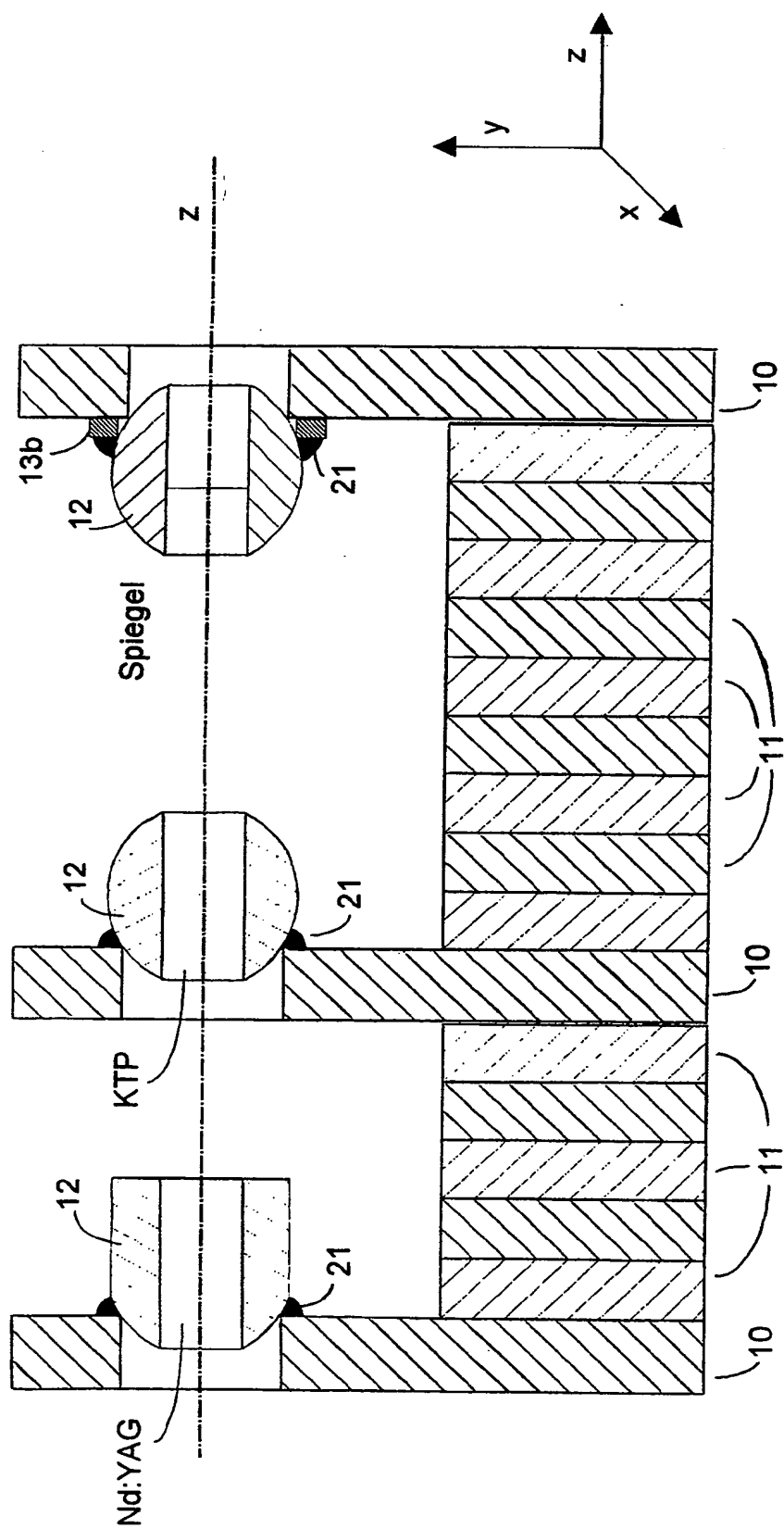
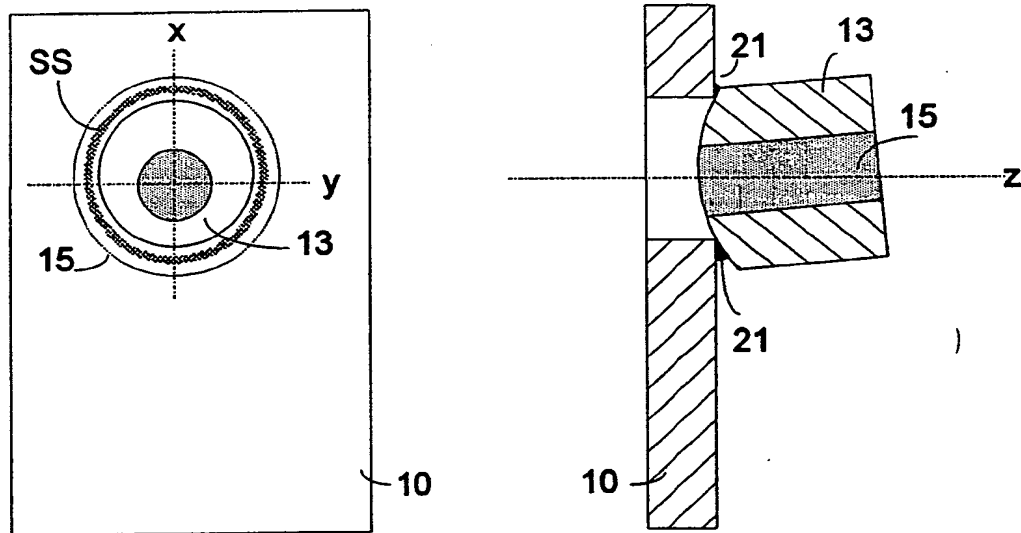


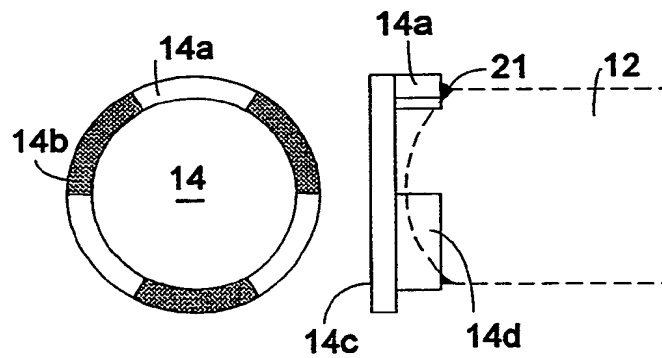
Fig. 2



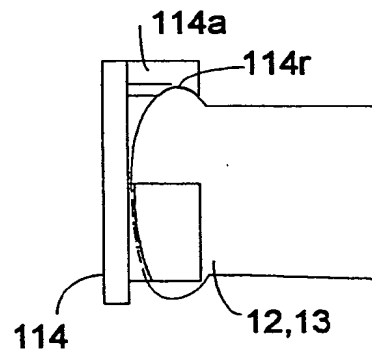
**Fig. 3**



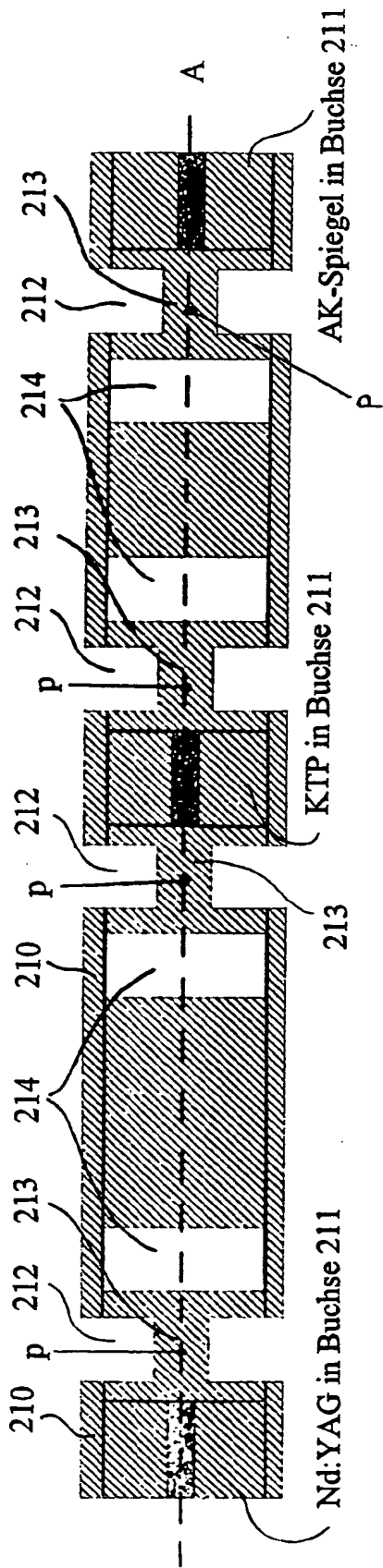
**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**



**Fig. 7**

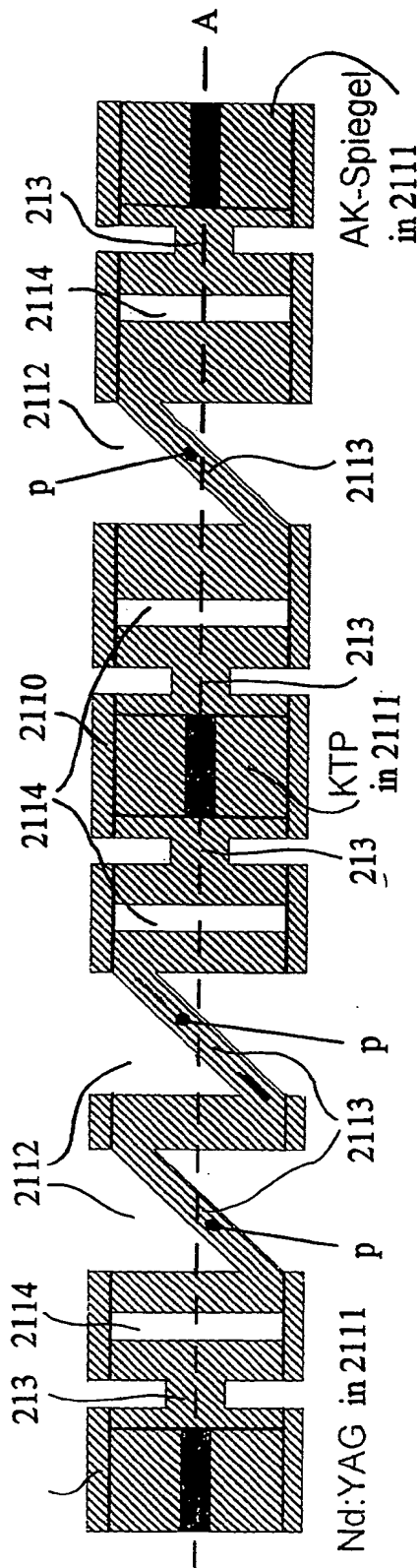


Fig. 8

